
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Peperiksaan Semester Pertama
Sidang Akademik 2004/2005

Oktober 2004

EKC 462 – Sistem Kawalan Lanjutan untuk Proses Industri

Masa : 3 jam

Sila pastikan bahawa kertas peperiksaan ini mengandungi DUA BELAS muka surat yang bercetak sebelum anda memulakan peperiksaan ini.

Arahan: Jawab **EMPAT (4)** soalan. Jawab **SEMUA** soalan dari Bahagian A. Jawab mana-mana **TIGA (3)** soalan dari Bahagian B.

Pelajar boleh menjawab semua soalan dalam Bahasa Malaysia. Jika pelajar ingin menjawab dalam Bahasa Inggeris, pelajar hendaklah menjawab sekurang-kurangnya SATU soalan dalam Bahasa Malaysia.

Bahagian A : Jawab Soalan 1. Soalan 1 wajib dijawab.

Section A : Answer Question 1 which is compulsory.

1. [a] Pertimbangkan suatu proses yang mempunyai satu keluaran terkawal dan dua pembolehubah boleh laras aktif. Di bawah keadaan apa anda boleh menggunakan kedua-dua pembolehubah boleh laras untuk mengawal keluaran tunggal tersebut?
[2 markah]
- [b] Kenapa sistem pampasan masa mati juga dikenali sebagai peramal?
[2markah]
- [c] Bilakah anda menggunakan sistem kawalan menggubal?
[2 markah]
- [d] Kenapakah kawalan suap depan tidak boleh digunakan bersendirian?
[2 markah]
- [e] Adakah ciri-ciri kestabilan bagi sesebuah proses berubah dengan kawalan suap depan sepertimana ianya berubah di dalam suap balik?
[2 markah]
- [f] Apakah elemen mendulu-mengekor ?
[2 markah]
- [g] Bagaimanakah anda memilih nilai nisbah yang diinginkan di dalam sistem kawalan nisbah?
[2 markah]
- [h] Apakah itu kawalan suai dan kenapa ianya diperlukan di dalam kawalan proses kimia?
[2 markah]
- [i] Nilai λ_{11} bagi sebuah tatasusunan gandaan relatif adalah 0.8. Apakah nilai elemen lain di dalam sebuah tatasusunan gandaan relatif yang mempunyai sistem 2×2 ?
[2 markah]
- [j] Bolehkah kamu menalakan dua gelung yang saling tindak secara berasingan dan mengekalkan kestabilan keseluruhan proses? Terangkan kenapa atau kenapa tidak?
[2 markah]
- [k] Apakah yang dimaksudkan dengan horizon jangkaan dan horizon kawalan?
[2 markah]

- [l] Terangkan secara ringkas pendekatan horizon menyusut bagi sebuah skema kawalan MPC.

[3 markah]

1. [a] Consider a process with one controlled output and two active manipulated variables. Under what conditions could you use both manipulated variables to control the single output?

[2 marks]

- [b] Why a dead-time compensation system is also called a predictor?

[2 marks]

- [c] When do you use override control systems?

[2 marks]

- [d] Why feedforward control can not be used alone?

[2 marks]

- [e] Do the stability characteristics of a process change with feedforward control as they do with feedback?

[2 marks]

- [f] What is a lead-lag element?

[2 marks]

- [g] How do you select the desired value of the ratio in a ratio control system?

[2 marks]

- [h] What is adaptive control, and why is it needed in chemical process control?

[2 marks]

- [i] The value of λ_{11} of a relative gain array is 0.8. What are the values of the other elements of the relative gain array of a 2 x 2 system?

[2 marks]

- [j] Can you tune two interacting loops separately and retain the stability of the overall process? Explain why or why not.

[2 marks]

- [k] What is meant by prediction horizon and control horizon?

[2 marks]

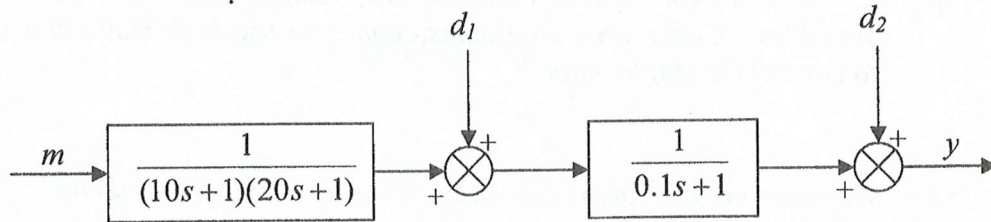
- [l] Briefly explain the receding horizon approach of MPC control scheme.

[3 marks]

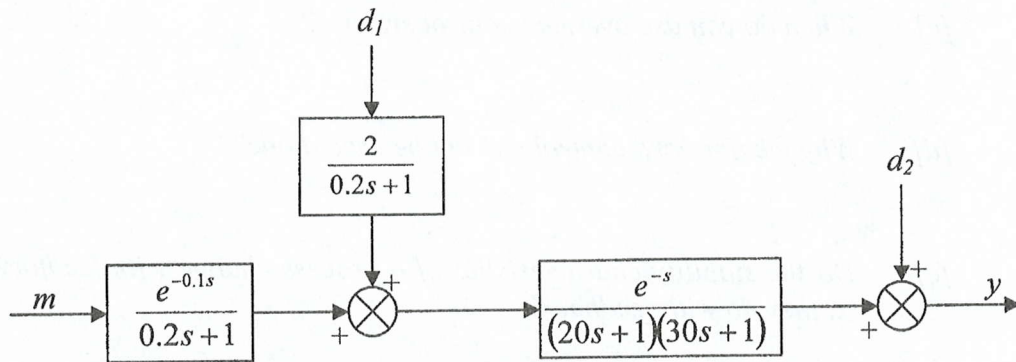
Bahagian B : Jawab mana-mana TIGA soalan.

Section B : Answer any THREE questions.

2. [a] Pertimbangkan Rajah S.2[a] [i] dan S.2[a] [ii] yang menunjukkan gambarajah blok bagi dua buah proses dinamik.



Rajah S.2 [a] [i]



Rajah S.2.[a] [ii]

- [i] Yang manakah di antara dua proses yang sepatutnya dikawal menggunakan sistem lata bagi memperbaiki kelakuan gelung tertutup apabila berlaku perubahan di dalam gangguan d_1 ? Kenapa?

[6 markah]

- [ii] Bina sistem lata bagi proses yang kamu pilih di dalam bahagian [i] untuk kawalan lata. Lukiskan gambarajah bloknya menggunakan dua pengawal berkadaran.

[6 markah]

- [b] Bentukkan pemampas masa-lengah (pemampas *Smith*) bagi

$$G_p(s) = \frac{e^{-6s}}{(5s+1)}$$

$$G_v = G_m = 1$$

Lukiskan gambarajah blok bagi sistem kawalan yang mempunyai pemampas masa-lengah. Terangkan bagaimana kesan gangguan dan ketidaksesuaian model loji boleh diambil kira di dalam sistem kawalan di atas.

[13 markah]

2. [a] Consider the Figures Q.2 [a] [i] and Q.2[a] [ii] that show the block diagrams of two dynamic processes.

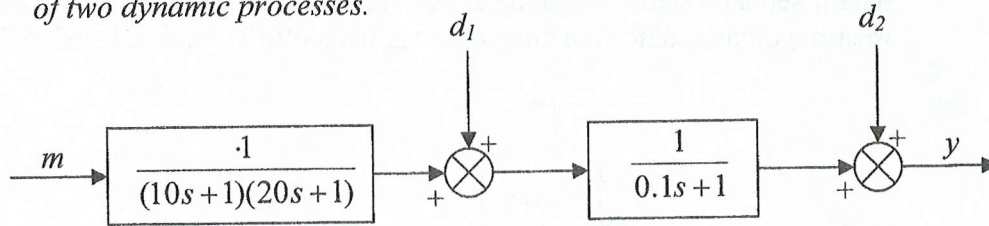


Figure Q.2 [a] [i]

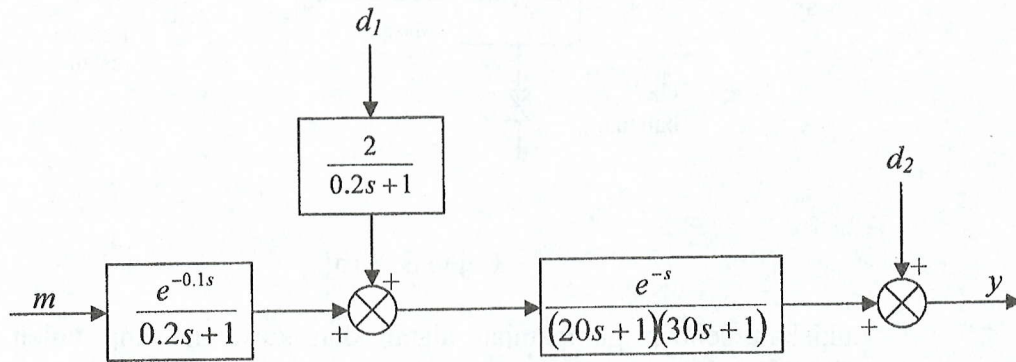


Figure Q.2. [a] [ii]

- [i] Which of the two processes should be controlled by a cascade system in order to improve its closed-loop behavior to changes in disturbances d_1 ? Why?

[6 marks]

- [ii] Construct the cascade system for the process you selected in part [i] for cascade control. Draw the corresponding block diagram using two proportional controllers.

[6 marks]

- [b] Design a time-delay compensator (Smith predictor) for

$$G_p(s) = \frac{e^{-6s}}{(5s+1)} \quad G_v = G_m = 1$$

Draw the block diagram of the control system incorporating the time-delay compensator. Explain how the disturbance effects and the plant-model mismatches are taken care of in the above control system.

[13 marks]

3. [a] Bentukkan pengawal suap depan berkeadaan mantap dan dinamik bagi penolakan gangguan untuk sistem yang mempunyai rangkap pindah yang berikut:

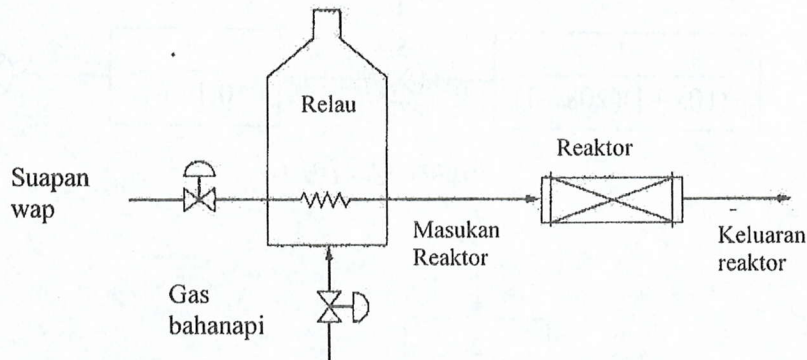
$$G_p(s) = \frac{10}{s+1} \quad G_d(s) = \frac{2}{(s+1)(5s+1)} \quad G_t = G_v = 1$$

Adakah pengawal-pengawal suap depan yang direka di atas boleh direalisasikan secara fizikal? Kenapa?

[10 markah]

...6/-

- [b] Suapan wap ke dalam reaktor tiub adiabatik dipanaskan sehingga 700°F di dalam sebuah relau. Tindakbalas adalah endotermik. Suhu keluaran gas yang meninggalkan reaktor mestilah dikawal pada 600°F. Rujuk Rajah S.3[b].



Rajah S. 3 [b]

Lukiskan sebuah gambarajah alatan dan kawalan yang boleh memenuhi objektif berikut:

- [i] Suapan adalah dikawal alirannya.

[2 markah]

- [ii] Bahanapi gas dikawal alirannya dan dinisbahkan kepada kadar aliran suapan.

[3 markah]

- [iii] Nisbah bahanapi kepada suapan dilaraskan oleh satu pengawal suhu keluaran relau.

[3 markah]

- [iv] Titik set pengawal suhu keluaran relau dilaraskan oleh pengawal suhu keluaran reaktor.

[3 markah]

- [v] Suhu keluaran relau tidak boleh melebihi 400°C.

[2 markah]

- [vi] Suhu tinggi paip tumpu relau mesti menjepit injap kawalan gas bahan api.

[2 markah]

3. [a] Design the steady-state and dynamic feedforward controllers for disturbance rejection for the system with the following transfer functions.

$$G_p(s) = \frac{10}{s+1} \quad G_d(s) = \frac{2}{(s+1)(5s+1)} \quad G_i = G_v = 1$$

Are the feedforward controllers designed above physically realizable? Why?

[10 marks]

- [b] Vapor feed to an adiabatic tubular reactor is heated to about 700°F in a furnace. The reaction is endothermic. The exit temperature of gas leaving the reactor is to be controlled at 600°F. Refer to Figure Q. 3 [b].

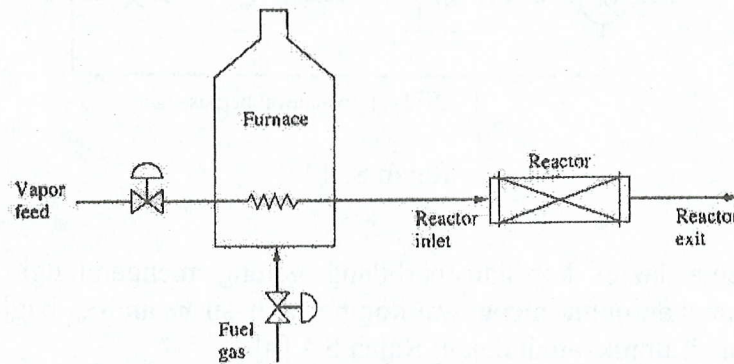
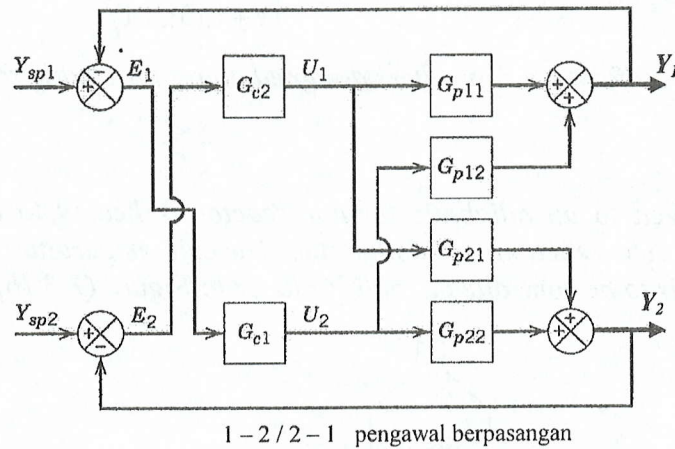


Figure Q. 3 [b]

Draw an instrumentation and control diagram that accomplishes the following objectives:

- [i] Feed is flow controlled. [2 marks]
- [ii] Fuel gas is flow controlled and ratioed to feed rate. [3 marks]
- [iii] The fuel to feed ratio is to be adjusted by a furnace exit temperature controller. [3 marks]
- [iv] The set point of the furnace exit temperature controller is to be adjusted by a reactor exit temperature controller. [3 marks]
- [v] Furnace exit temperature is not to exceed 400°C. [2 marks]
- [vi] High furnace stack gas temperature should pinch the fuel gas control valve. [2 marks]

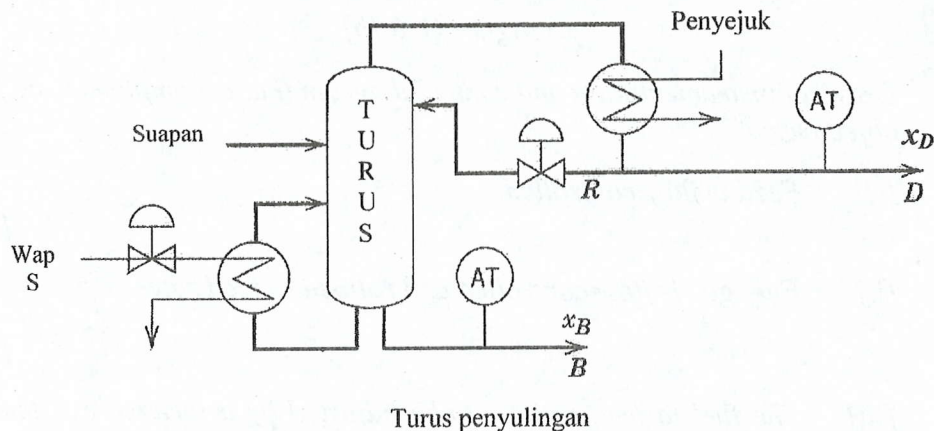
4. [a] Terbitkan ungkapan untuk persamaan ciri bagi tatarajah 1-2/2-1 dalam Rajah S. 4 [a]. Permudahkan dan takrifkan persamaan ini untuk keadaan khas di mana samada G_{p11} atau G_{p22} adalah sifar.



Rajah S. 4 [a]

[10 markah]

- [b] Skema lazim kawalan berbilang gelung mengandungi dua pengawal PI digunakan untuk mengawal komposisi hasil x_D and x_B bagi turus penyulingan yang ditunjukkan di dalam Rajah S.4 [b].



Rajah S. 4 [b]

Pembolehubah olahan adalah kadar aliran refluks R dan kadar aliran wap ke pengulang didih S . Data eksperimen untuk beberapa keadaan mantap adalah dirumuskan seperti di dalam Jadual S.4 di bawah.

Jadual S. 4

Larian	R (kg/min)	S (kg/min)	x_D	x_B
1	125	22	0.97	0.04
2	150	22	0.95	0.05
3	175	22	0.93	0.06
4	150	20	0.94	0.06
5	150	24	0.96	0.04

Gunakan maklumat ini untuk menjawab soalan berikut:

- [i] Kirakan RGA dan tentukan pasangan cadangan antara pembolehubah kawalan olahan.

[12 markah]

- [ii] Adakah pasangan ini sesuai dari pertimbangan dinamik? Jelaskan jawapan anda.

[3 markah]

4. [a] Derive an expression for the characteristic equation for the 1-2/2-1 configuration in Figure Q. 4 [a]. Simplify and interpret this equation for the special situation where either G_{p11} or G_{p22} is zero.

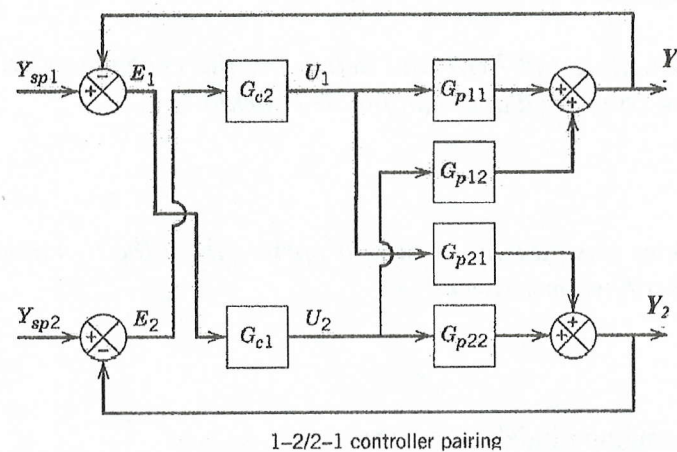


Figure Q. 4 [a]

[10 marks]

- [b] A conventional multi-loop control scheme consisting of two PI controllers is to be used to control the product compositions x_D and x_B of the distillation column shown in Figure Q. 4 [b].

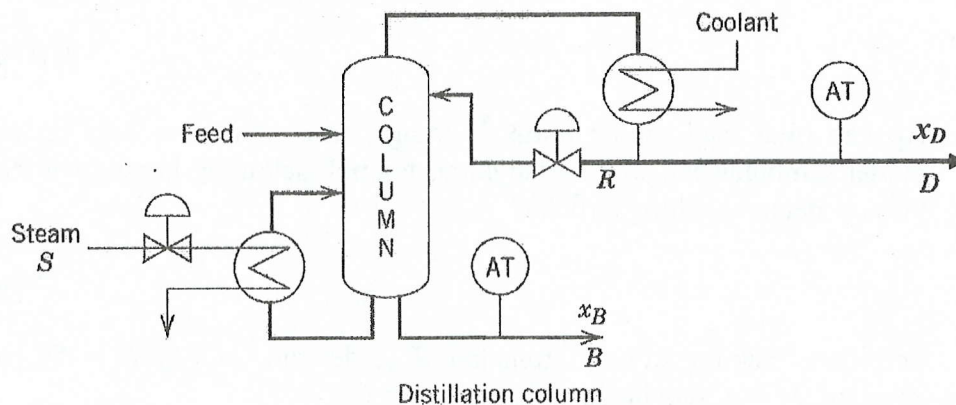


Figure Q. 4 [b]

The manipulated variables are the reflux flow rate R and the steam flow rate to the reboiler S . Experimental data for a number of steady state conditions are summarized below in Table Q.4.

Table Q. 4

Run	R (kg/min)	S (kg/min)	x_D	x_B
1	125	22	0.97	0.04
2	150	22	0.95	0.05
3	175	22	0.93	0.06
4	150	20	0.94	0.06
5	150	24	0.96	0.04

Use this information to do the following:

[i] Calculate the RGA and determine the recommended pairing between the controlled and manipulated variables.

[12 marks]

[ii] Does this pairing seem appropriate from the dynamic considerations? Justify your answer.

[3 marks]

5. Pertimbangkan rangkap pindah dibawah:

$$G_p(s) = \frac{2e^{-s}}{(10s+1)(5s+1)} \quad G_v = G_m = 1$$

[a] Dapatkan ungkapan analisis untuk sambutan langkah ke unit tukar langkah. Nilaikan sepuluh yang pertama pekali sambutan langkah $\{S_i\}$, untuk tempoh pensampelan $\Delta t = 1$.

[10 markah]

[b] Apakah nilai bagi model untuk N yang perlu ditentukan bagi memastikan model sambutan langkah merangkumi tempoh sekurang-kurangnya 99% dari masa penetapan gelung terbuka?

[5 markah]

[c] Terbitkan Hukum kawalan ramalan, K_{cl} , dengan $\Delta t = 1$, $N = 50$, horizon kawalan, $M = 1$, dan horizon ramalan, $P = 6$.

[10 markah]

Pembayang: Untuk bahagian [a] di atas, guna rumus berikut:

Rangkap pindah untuk sistem tersebut:

$$G_p(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)},$$

sambutan langkah unit:

$$Y(t) = K \left(1 - \frac{\tau_1 e^{-t/\tau_1} - \tau_2 e^{-t/\tau_2}}{\tau_1 - \tau_2} \right)$$

5. Consider the transfer functions given below:

$$G_p(s) = \frac{2e^{-s}}{(10s+1)(5s+1)} \quad G_v = G_m = 1$$

[a] Obtain an analytical expression for the step response to a unit step change. Evaluate the first ten step response coefficients, $\{S_i\}$, for a sampling period of $\Delta t = 1$.

[10 marks]

[b] What value of model horizon N should be specified in order to ensure that the step-response model covers a period of at least 99% of the open-loop settling time?

[5 marks]

[c] Derive the predictive control law, K_{cl} , with $\Delta t = 1$, $N = 50$, the control horizon, $M = 1$, and the prediction horizon, $P = 6$.

[10 marks]

Hint: For part [a] above, use the following formula:

For a system given by the transfer function

$$G_p(s) = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)},$$

the unit step response is given by

$$Y(t) = K \left(1 - \frac{\tau_1 e^{-t/\tau_1} - \tau_2 e^{-t/\tau_2}}{\tau_1 - \tau_2} \right).$$

6. [a] Gunakan tatacara IMC untuk merkabentuk pengawal bagi proses pencampuran 3 tangki. Model tertib ketiga terlurus bagi proses tersebut seperti di bawah:

$$G_p(s) = \frac{0.039}{(5s+1)^3}$$

Tunjukkan kelemahan rekabentuk pengawal yang direka.

[10 markah]

- [b] Rekabentukkan pengawal IMC untuk proses yang digambarkan dalam bahagian [a], menggunakan model pilihan anggaran tertib-pertama-tambah masa-mati bagi proses yang ditentukan menggunakan lengkung tindakbalas proses.

$$G_p(s) = \frac{0.039e^{-5.5s}}{(10.5s+1)}$$

Gunakan penapis laluan rendah untuk meningkatkan keupayaan pengawal tersebut. Cadangkan nilai yang sesuai untuk pemalar masa bagi penapis laluan rendah

[15 markah]

6. [a] *Apply the IMC procedure to design a controller for a three-tank mixing process. The linearized third-order model of the process is given below:*

$$G_p(s) = \frac{0.039}{(5s+1)^3}$$

Bring out the drawbacks of the controller designed.

[10 marks]

- [b] *Design an IMC controller for the process described in part [a], using the alternative first-order-plus-dead time approximate model for the process that was determined using the process reaction curve.*

$$G_p(s) = \frac{0.039e^{-5.5s}}{(10.5s+1)}$$

Use a low-pass filter to improve the robustness of the controller. Suggest a suitable value for the time constant of the low-pass filter.

[15 marks]